

JENERATÖR GRUPLARININ BELİRLENMESİNDE SEYAHAT EDEN SATICI PROBLEMİ (TSP) YAKLAŞIMI

ERKAN ATMACA
e-mail: erkana@istanbul.edu.tr

DİDEM ERDOĞAN
e-mail: dideme@istanbul.edu.tr

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Özet- Gruplama, güç ve haberleşme sistemleri ile sosyal bilimler gibi değişik alanlarda karşılaşılan problemlerden biridir. Bu çalışma çok makinalı enerji sistemlerinde uyumlu jeneratör gruplarının belirlenmesine yönelik basit bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntem, seyahat eden satıcı problemi (traveling salesman problem (TSP))'nin çözümünden faydalanmaktadır. Yöntem, jeneratörler arasındaki elektriksel uzaklıklarla bu uzaklıkların belirlediği korelasyon ilişkilerini kullanmaktadır. New England test sisteminde test edilen bu yöntem geçerli sonuçlar üretmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde çok makinalı enerji sistemleri büyük coğrafi alanlara yayılmakta ve çok sayıda bara ve jeneratör içermektedir. Sistemin karmaşık bölümlerini eşdeğer modelleri ile sadeleştirmek, hesap kolaylığı ve hızı açısından kararlılık incelemelerinde ya da güç sistemi dengeliyicisi (power system stabilizer (PSS)) tasarımlarında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Enerji sistemlerinin kararlılık incelemelerini hızlandırma çalışmaları, jeneratör modellerinin de indirgenmesini içermektedir.

Enerji sistemlerinin sadeleştirilmesinde temel olarak 3 yaklaşım vardır: Modal analiz (modal analysis) [1,2] sistem parametreleri kullanılmadan uygulanan yaklaşım (estimation) tekniği [3] ve uyumluluk tekniği (coherency approach)'dir [4,5].

Uyumluluk esasına dayanan indirgemedeki ilk adım uyumlu jeneratörlerin tanımlanmasıdır. Bu tanımlama ya tüm sistem için yapılan geçici kararlılık analizi (transient stability analysis) sonucunda ya da bazı uyumluluk ölçütlerine bağlı öngörü ile yapılabilir.

'Uyumluluk' uzaktan gelen etkiler karşısında bazı jeneratör gruplarının kendi aralarında uyumlu salınımlar yapmaları ve bu yüzden de her bir grubun tek bir eşdeğer makina tarafından gösterilebilmesi esasına dayanır [6].

Uyumluluk davranışında elektriksel uzaklık kavramı baskında olsa, arıza bölgesinden bağımsız olarak jeneratör ataletinin etkisinin de uyumluluk ölçütü geliştirilirken mutlaka hesaba katılması gerekir. Bu şekilde geliştirilen uyumluluk ölçütü hesap

karmaşıklığından kurtulmak için yeterince kolaylık sağlayabilir.

Literatürde bu tarz uyumluluk ölçütünün geliştirildiğine [7,8,9] ve uyumlu jeneratör gruplarının belirlenmesinde kullanılan metodların, çok makinalı enerji sistemlerindeki uygulamaları ile farklı performans kriterleri açısından yapılan karşılaştırmalarına rastlanmıştır [10,11,12]. Bu kriterler, sistemi indirgeme derecesi, doğruluk derecesi ve programın çalışma hızı olabilir ve uygulamaya göre değişebilir bile belirlenen %50 oranında indirgenmiş modellerin sistemin temel davranışlarını yansıttığı görülmüştür [10,12].

Bu çalışmada uyumlu jeneratörlerin belirlenmesinde jeneratörler arasındaki elektriksel uzaklık kavramı temel alınarak optimizasyon yöntemlerinden TSP kullanılmıştır. Bu yöntem New England test sistemine uygulanmıştır. İlk adımda jeneratörler arasındaki karşılıklı elektriksel uzaklıkları içeren sistemin bara admitans matrisi kullanılmıştır.

Minimum uzaklığa sahip dizilim elde edildikten sonra bara admitans matrisinden hesaplanan korelasyon matrisinden alınan korelasyon katsayıları kullanılarak [8], dizilim, jeneratörlerin birbiri arasındaki bağın kuvvetine göre gruplara bölünmüştür. Elde edilen grupların geçerliliği doğrulanmıştır [13].

YÖNTEM

Mühendislik biliminin farklı alanlarında çözümü zor olan bir çok optimizasyon problemi vardır. Bu problemleri çözmek için kullanılan hesap adımlarının sayısı, sistem boyutunun gücü büyüdükçe hızla artar [14]. Ayrık yada birleşik (combinatorial) optimizasyonda bilinen en klasik örnek seyahat eden satıcı problemi (Traveling Salesman Problem (TSP))'dir.

TSP şu şekilde ifade edilebilir: Bir satıcı bir iş gününü 1 numaralı şehirden başlayarak N adet şehri döngüsel olarak ziyaret ederek geçirecektir. Burda problem sıralı gezi turunu N adet şehir için, her şehri bir defa ziyaret etmek koşuluyla minimize etmektir. TSP hem integer programlama hemde dinamik programlama ile çözülebilir [15]. i. ve j. şehirler arasındaki uzaklık $d_{ij} \geq 0$, $0 \leq (i, j) \leq N$. Bu problem dinamic

programlamada çok aşamalı karar yöntemi ile formülize edilebilir. Satıcının i . şehre ulaştığı ve 1. şehre dönmeden önce k adet şehir, $j_2, j_3, j_4, \dots, j_k$, ziyaret ettiği turu optimal tur olarak varsayılırsa, i . şehirden 1. şehire kadar belirlenen en kısa rota $D(i|j_2, j_3, \dots, j_k)$ olarak tanımlanabilir. Eğer $D(1|j_2, j_3, \dots, j_k)$ hesaplanacak olursa problem çözülmüş olur. Bu durumda $D(i|j_2, j_3, \dots, j_k)$ şu şekilde elde edilebilir:

$$D(i|j_2, \dots, j_k) = \min_{1 \leq m \leq k} [d_{ij_m} + D(j_m|j_2, \dots, j_{m-1}, \dots, j_k)] \quad (1)$$

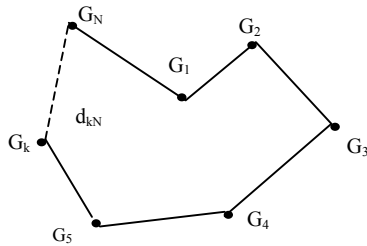
Hesaplamaların başlangıç koşulu olarak:

$$D(i|j) = d_{ij} + d_{j1} \quad (2)$$

kullanılabilir ve iterasyon $D(1|j_2, j_3, \dots, j_k)$ belirlendiği durumda sona erecektir.

$D(i|j_2, j_3, \dots, j_k)$ fonksiyonunun değerleri (1) no'lu eşitliğin uygulanabilirliği için kaydedilir.

Bu çalışmada TSP modeli çok makinalı enerji sistemlerindeki uyumlu jeneratörlerin gruplandırılması problemine uygulanmıştır. Başlangıçta dikdörtgen biçiminde bir alana rastgele yayılmış, coğrafi özellikleri bilinen N nokta ele alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Dikdörtgen alana rastgele yayılmış N nokta.

(1) no'lu eşitlik rastgele dağılmış N noktaya uygulandığında tüm noktaların üzerinden bir kez geçilmek koşuluyla minimum uzunluktaki rota $D(i|j_2, j_3, \dots, j_k)$ hesaplanabilir. Ancak bu metod N noktadaki jeneratörleri gruplandırmak için yeterli değildir. Gruplandırmanın, optimum grup sayısını belirleyerek yapılabilmesi için hesaplanan rotanın hangi uygun noktalarda kırılması problemi ortaya çıkmaktadır. Bunu ortadan kaldırmak için birbirine en uzak olan iki nokta, 1 ve n noktaları gözönüne alınmıştır. Zincir 1 ve n noktaları arasından yani bu rota üzerindeki en zayıf bağdan kırılmaya başlanarak ve adım adım bir öncekiyle görece zayıf bağları birbirinden ayırarak devam edilmiştir. Örnek olarak; farklı lokasyonlarda 20 şehir ele alınmıştır. Şehirler hakkındaki bilgi sadece buldukları koordinatlardır (Tablo 1).

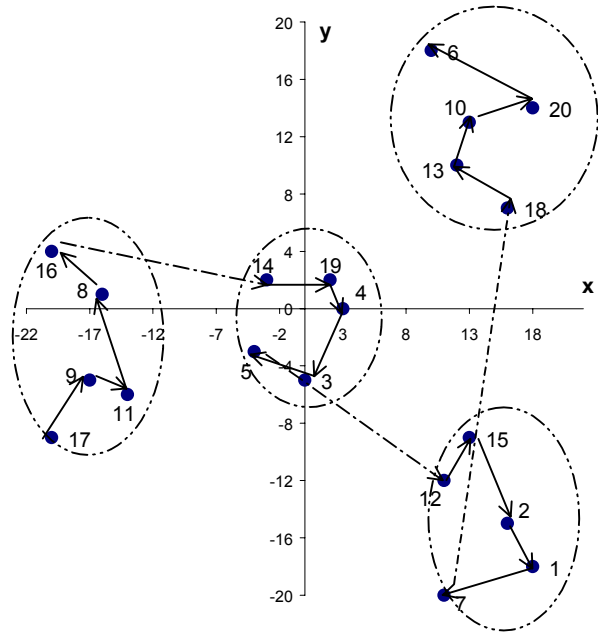
Tablo 1. 20 şehrin x-y düzleminde bulunduğu koordinatlar

Şehir	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x	18	16	0	3	-4	10	11	-16	-17	13	-14	11	12	-3	13	-20	-20	16	2	18
y	-18	-15	-5	0	-3	18	-20	1	-5	13	-6	-12	10	2	-9	4	-9	7	2	14

Bu örnek rastgele bir tur rotası ile başlar ve dinamik programlamaya temel alınarak oluşan algoritma ile minimum tur rotası bulunana kadar her adımda kendini iyileştirerek devam eder. 20 şehirli rastgele dağılımlı yukarıdaki durum için minimum tur rotası şu şekilde belirlenmiştir (Tablo 2) ve x-y düzleminde verilen rotanın 4 farklı gruba bölünebilme yatkınlığı gösterilmiştir (Şekil 2).

Tablo 2. 20 şehir için belirlenen minimum tur rotası

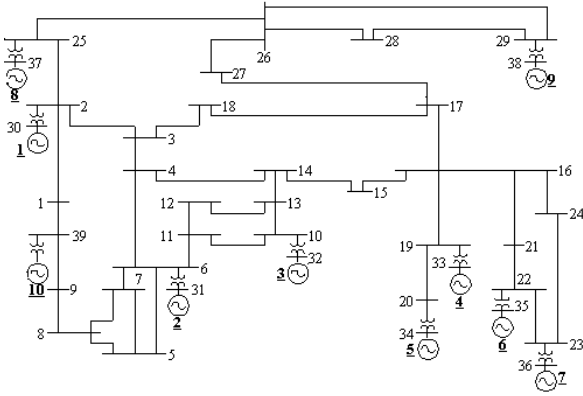
Min. Tur Rotası	17	9	11	8	16	14	19	4	3	5	12	15	2	1	7	18	13	10	20	6
-----------------	----	---	----	---	----	----	----	---	---	---	----	----	---	---	---	----	----	----	----	---



Şekil 2. 20 şehir için belirlenen minimum tur rotası.

BULGULAR

10 makinalı, 39 bara ve 46 hatta sahip New England test sistemi Şekil 3.de verilmiştir. New England sistemine ait bara admitans matrisinden hesaplanan korelasyon matrisi Tablo 3.de gösterilmiştir.



Şekil 3. New England test sistemi

Tablo 3. New England sistemine ait korelasyon matrisi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1									
2	0,72	1								
3	0,69	0,99	1							
4	-0,4	-0,32	-0,24	1						
5	-0,52	-0,44	-0,37	0,98	1					
6	0,13	0,18	0,24	0,68	0,57	1				
7	0,12	0,17	0,23	0,67	0,56	0,99	1			
8	0,99	0,7	0,67	-0,4	-0,52	0,12	0,11	1		
9	0,92	0,44	0,42	-0,03	-0,37	0,21	0,2	0,92	1	
10	0,93	0,89	0,87	-0,5	-0,62	0,04	0,03	0,93	0,74	1

TSP'ne dayanan algoritma ile yapılan hesaplamalar sonucunda New England sistemine ait 10 jeneratörün minimum uzaklığa sahip dizilimi Tablo 4.de verilmiştir.

Tablo 4. New England sisteminde jeneratörler için minimum uzaklığa sahip dizilim

Dizilim	9	1	8	10	3	2	4	5	6	7

Elde edilen dizilim en zayıf bağlı iki jeneratörden başlayarak sırasıyla ayırıldı. Her birini en sıkı bağlı jeneratörle gruptandırmaya, jeneratör sayısı yaklaşık % 50 oranında indirgenene kadar devam edildi (Tablo 5).

Tablo 5. New Egland sisteminin bölümleri

Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5	Grup 6
1	2	4	6	9	10
8	3	5	7		

New England test sistemini daha farklı düzeylerde de gruptandırmak mümkündür (Tablo 6, Tablo 7).

Tablo 6. 5 gruba bölünmüş New England test sistemi

Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4	Grup 5
1	2	4	6	10
8	3	5	7	
9				

Tablo 7. 4 gruba bölünmüş New England test sistemi

Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
1	2	4	10
8	3	5	
9		6	
		7	

SONUÇ

Bu bildiriye TSP yönteminin jeneratörlerin gruptandırılmasında uygulanabilirliği ve elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu gösterilmiştir. Jeneratörler arası elektriksel uzaklığa dayanan TSP algoritması, karmaşık hesaplar yapılmaksızın, bir kaç adımda ve kısa sürede uyumlu jeneratör gruplarını belirlemektedir. Bir sonraki aşamada bu yöntemin Türkiye Enerji Sisteminin indirgenmesinde kullanılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- 1.Undrill, J.M., Turner, A.E. Construction of Power System Electromechanical Equivalents by Modal Analysis, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-90, pp 2049-2059, 1971
- 2.Undrill, J.M., Casazza, J.A., Gulachenski, E.M., Kirchmayer, L.K. Electromechanical Equivalents for Use in Power System Stability Studies, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-90, pp 2060-2071, 1971
- 3.Ibrahim,M.A.,Mostafa O.M.,El-Abiad, A.H., Dynamic Equivalents Using Operating Data and Stochastic Modelling, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-95, No.5, pp 1713-1722, 1978
- 4.Podmore, Robin. Identification of Coherent Generators for Dynamic Equivalents, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-97, No.4, 1978
- 5.Germond, A.J., Podmore, R. Dynamic Aggregation of Generating Unit Models, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-97, No.4, 1978

6.Serifođlu, N., Atmaca, E., Uyumlu Jeneratörlerin Belirlenmesinde Korelasyon Yaklaşımı, ELECO'99, Bursa

7.Lee, S.T.Y., Scweppe, F.C., Distance Measures and Coherency Recognition for Transient Stability Equivalents, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-82, pp 1550-1557, 1973

8.Avramoviç, B.,Kokotoviç, P.V.,Winkelman, J.R., Chow, J.H. Area Decomposition for Electromechanical Models of Power Systems, Automatica, Vol.16, pp637-648,1980

9.Gallai, A.M., Thomas, R.J. Coherency Identification for Large Electric Power Systems, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol.CAS-29, pp 777-781, 1982

10.Newell, R.J.,Risian, M.D., Allen, L., Rao, K.S., Stuehm, D.L. Utility Experience with Coherency Based Dynamic Equivalents of Very Large Systems, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-97, No.11, 1985

11.Wang, L., Klein, M., Yirga, S., Kundur, P. Dynamic Reduction of Large Power Systems for Stability Studies, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.12, No.2, 1997

12.Price, W., Gargrave, A.W., Hurysuz, B.J. Large-scale system Testing of a Power System Dynamic Equivalencing Program, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.13, No.3, 1998

13.Atmaca, E. A Rank Correlation Based Coherency Measure for Power Systems, ELECO'2001, Bursa

14.Jooyong, L., Choi, M.Y. Optimization by Multicanonical Annealing and The Traveling Salesman Problem, The American Physical Society, Vol.50, no:2, 1994

15.Wismer, D.A., Chattergy, R. Introduction to Nonlinear Optimization , A Problem Solving Approach, Elsevier North Holland, ISBN 0-444-00234-0, 1979